

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problems Mailbox.**

WEST

Generate Collection

Print

L1: Entry 8 of 11

File: JPAB

Dec 19, 1995

PUB-NO: JP407328859A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 07328859 A

TITLE: CORROSION RESISTANT PROCESSING METHOD BY CAVITATION

PUBN-DATE: December 19, 1995

INVENTOR-INFORMATION:

NAME

COUNTRY

SATOU, KAZUNORI

FUKUDA, YUJI

SHIGEHIO, KATSUYA

MATSUBARA, TOSHIO

KUROSAWA, KOICHI

SOYAMA, HITOSHI

OBA, RISABURO

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME

COUNTRY

BABCOCK HITACHI KK

HITACHI LTD

APPL-NO: JP06127674

APPL-DATE: June 9, 1994

INT-CL (IPC): B23 P 17/00; C23 C 26/00; C23 F 17/00

ABSTRACT:

PURPOSE: To perform corrosion resistant processing on a surface layer of a work object member, and enhance durability or reliability by colliding cavitation emitted from a cavitation generating device with the work object member in liquid.

CONSTITUTION: Water 9 is filled in a comparatively large water tank 8, and a pedestal 7 is arranged in a bottom part of this water tank 8, and a circular pipe part 5 being a work object is fixed on it by a support 6. High pressure water 1 is introduced to a nozzle 3 through a nozzle gun 2 being a high pressure water supply passage, and is injected at high speed into the water 9. Violent cavitation is generated in a high speed jet 4 injected into this water 9. When this jet 4 is collided with the circular pipe part 5 for prescribed time, corrosion resistant processing is realized. When a blowout hole diameter of the nozzle 3 is denoted by D, a standoff distance (x) between the outlet tip of this nozzle 3 and the circular pipe part 5 is set in a range of (30

COPYRIGHT: (C)1995,JPO

Cite

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-328859

(43) 公開日 平成7年(1995)12月19日

(51) Int.Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
B 2 3 P 17/00	A			
C 2 3 C 26/00	L			
C 2 3 F 17/00		8414-4K		

審査請求 未請求 請求項の数13 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平6-127674

(22) 出願日 平成6年(1994)6月9日

(71) 出願人 000005441

パプコック日立株式会社

東京都千代田区大手町2丁目6番2号

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 佐藤 一教

広島県呉市宝町3番36号 パプコック日立

株式会社呉研究所内

(72) 発明者 福田 祐治

広島県呉市宝町3番36号 パプコック日立

株式会社呉研究所内

(74) 代理人 弁理士 武 嗣次郎

最終頁に続く

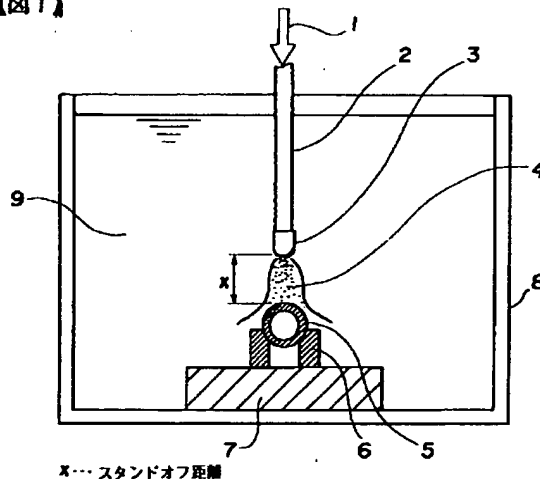
(54) 【発明の名称】 キャビテーションによる耐食処理法

(57) 【要約】

【目的】 液中において激しいキャビテーションを伴う液噴流を加工物に衝突させることにより耐食処理を行うキャビテーションによる耐食処理法を提供する。

【構成】 液中において、キャビテーション発生装置（ノズル3）より放出されるキャビテーション4を、耐食機能が要求される加工対象部材5に衝突させることによって耐食処理を行う。

【図1】



【特許請求の範囲】

【請求項1】 液中において、キャビテーション発生装置より放出されるキャビテーションを、耐食機能が要求される加工対象部材に衝突させることによって耐食処理を行うことを特徴とするキャビテーションによる耐食処理法。

【請求項2】 請求項1記載において、前記加工対象部材が、炭素鋼、フェライト系の低合金鋼、鉄系鋳物、ステンレス鋼、アルミニウムおよびアルミニウム合金のグループから選択された材料で構成されていることを特徴とするキャビテーションによる耐食処理法。

【請求項3】 請求項1または2記載において、高圧液をノズルから液中に高速で噴射する噴流によりキャビテーションを作り出すことを特徴とするキャビテーションによる耐食処理法。

【請求項4】 請求項3記載において、前記ノズルと加工対象部材の間のスタンドオフ距離を x 、ノズルの噴出孔直径を D とした時、下記の関係を有することを特徴とするキャビテーションによる耐食処理法。

$$30 < x/D < 180$$

【請求項5】 請求項4記載において、スタンドオフ距離 x/D の範囲の上流側の領域をスタンドオフ距離としている場合、小刻みな振り子状にノズルを動かすことを特徴とするキャビテーションによる耐食処理法。

【請求項6】 請求項1記載において、前記キャビテーション発生装置として高周波振動装置を用いることを特徴とするキャビテーションによる耐食法。

【請求項7】 請求項6記載において、前記高周波振動装置の周波数 f が5KHzから1MHzの範囲であることを特徴とするキャビテーションによる耐食処理法。

【請求項8】 請求項1ないし7記載において、高周波振動するノズルから高速で噴射される高速噴流をキャビテーションとして用いることを特徴とするキャビテーションによる耐食処理法。

【請求項9】 請求項1ないし4記載において、噴出孔出口に拡大空洞部を設けたノズルにより水中高速水噴流を噴射することを特徴とするキャビテーションによる耐食処理法。

【請求項10】 請求項1ないし9記載において、キャビテーションの照射時間を、1分以上30分間未満とすることを特徴とするキャビテーションによる耐食処理法。

【請求項11】 請求項1ないし9記載において、高圧液を噴射するノズルもしくは高周波振動装置あるいは加工対象部材の移動速度を、1.6mm/分以上50mm/分未満とすることを特徴とするキャビテーションによる耐食処理法。

【請求項12】 請求項1ないし9記載において、酸素で構成される液体、あるいは酸素を含む気体を物理的に溶解した液体を用いることを特徴とするキャビテーシ

ンによる耐食処理法。

【請求項13】 請求項3ないし5のいずれかの記載において、ノズルの噴射圧力を500kgf/cm²以下にするとともに、噴射衝突時間を少なくとも6分間以上とすることを特徴とするキャビテーションによる耐食処理法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、水中の高速水噴流あるいは超音波振動装置から発生する衝撃圧力を、金属材料からなる加工対象部材に特定の時間だけ付与して金属材料表面に防食処理を施す、キャビテーションによる耐食処理法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】高速ウォータージェットの利用は、ユニークな切断加工、採鉱、あるいは、はつり・洗浄技術として広く知られている。さらに、これを表層応力改善に利用する試みも、特開昭62-63614号公報で提案されている。

【0003】しかしこれらは、水噴流の軸上動力を有効に利用できる大気中の作業であり、この技術を水中水噴流へそのまま展開できるという保証はない。水中では、噴流軸上の動圧力の減衰はかなり速い。これは、周囲水の抵抗と同じ液相であるがために、拡散の速いことに起因する。水中において、気相中水噴流なみの軸上の動圧力を得るためには、超高圧発生装置が必要になり、コスト的に大変不利な技術になってしまう。

【0004】一方、水中の高速水噴流には、噴流と周囲水との剪断作用により、激しいキャビテーションが発生する。キャビテーションを促進し、多量に発生する気泡の急速圧壊作用を有効に利用できれば、気相中水噴流なみの加工性能を、低い噴射圧力で得ることが可能である。

【0005】キャビテーション気泡の急速圧壊時には、超高温、超高圧の場が極めて短時間の内にパルス状に作り出される。しかもこのパルスは、夥しい回数だけ繰り返される。

【0006】この現象が固体面近傍で起れば〔例えば、富田、佐藤、島；「平面剛体壁近傍での気泡の非球状運動に関する論理的ならびに実験的研究」日本機械学会論文集（B編）、59巻、562号、（1993-6）、1891〕、固定壁面を加工対象材表面に置き換えることにより、特定の材料加工に積極的に利用できる可能性を秘めている。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】水中の高速水噴流で発生する激しいキャビテーション現象の応用範囲は広い。例えば、発明者らが既に提案している水中構造物中の、特に溶接部を対象にした残留応力低減（特願平4-203969号）、フロンの用いない洗浄法（「フロン代替

えのキャビテーションジェット洗浄法」日本機械学会誌、vol. 96、No. 894、(1993-5)、446がある。この他、水中岩盤の掘孔や、船舶底部の海洋付着物の除去等への応用展開が期待される。

【0008】一方、キャビテーションによって材料は壊食する。この壊食は、ポンプや水車等の流体機械、バルブあるいはスクリュウ等において極めて頻繁に発生する。はじめは塑性変形(ピット)群が発生し、これが進行するとともに、材料の表層がえぐり取られるように破壊する。極めて激しい損傷の生じる場合は、壊食部から材料の深部へ貫通して亀裂すら生じるようになる。

【0009】このように見掛け上の壊食や騒音のみが顕著であるキャビテーション現象も、未解明な点が少なくない。僅か数十μ秒の間に気泡が急速に崩壊し、その際、数千気圧に及ぶ圧力が発生する(断熱圧縮として考えると数千度まで温度が上昇する)現象が、材料の表面で生じる瞬間の水あるいは材料との界面の変化については、工学的に有望な多くの現象が潜んでいる。

【0010】本発明の目的は、液中において激しいキャビテーションを伴う液噴流を加工物に衝突させることにより耐食処理を行うキャビテーションによる耐食処理法を提供することにある。

【0011】

【課題を解決するための手段】本発明においては、水中の超高温、超高压のパルス状現象を耐食加工に利用するため、この現象を容易に実現することができるキャビテーションを金属材料表層の耐食処理加工に適用する。

【0012】水槽内の水中に、加工対象物である構造物あるいは部品を設置し、ノズルから高速で水噴流を噴射する。この水中高速水噴流には激しいキャビテーションが発生する。

【0013】このように激しいキャビテーションを伴う水中水噴流を、加工対象物に対して、所定の時間(例えば、1〜5分間程度)だけ衝突させる。キャビテーションの影響が及んだ加工対象物は、耐食性が特に全面腐食の防止効果が他の部位に比べると格段に向上する。この耐食加工材料は、炭素、鋼、低合金鋼(フェライト系)および鉄系鋳物(鋳鋼、鋳鉄)、ステンレス鋼、アルミニウムおよびその合金である。

【0014】水中高速水噴流に発生するキャビテーションの形態は様ではなく、設定条件については請求項4に示したように、また具体的には後述するように、噴流の軸方向に対して2つの衝撃圧ピークをとる特異なものである。

【0015】本発明における耐食施工は、特殊な場合を除いて下流にある2番目のピークに相当するスタンドオフ距離(ノズル出口から加工位置までの距離)を衝突領域として利用する。この第2ピークでは、パワフルな渦キャビテーションが活発に生成する。また、第2ピークでは、キャビテーションのエネルギーが広く分散するた

め、広い面積の部分の耐食施工が可能になる。

【0016】特開平4-362124号公報に示されるようなウォータージェットピーニングに比べて施工時間に関しては、即ち、キャビテーションの照射時間についてはより長く、もしくはノズルのトラバース速度はよりゆっくり設定するようにする。

【0017】このようにすることで、耐食の効果が強まり、材料表面における耐食効果の生じる面積が拡大する。

10 【0018】一方、ノズルに近い第1ピークでは、噴流の液芯(コア)部が直接衝突するため、材料の狭い領域にエネルギーが集中する。そのため、材料がエロージョン(壊食)を起こしたり、あるいは折角形成された不動態皮膜が破壊されるおそれがある。そのため、第1ピークを用いる場合(ノズルの入り込めないような狭隙部など)には、ノズルを小刻みに動かしたり、噴射圧力を下げたりする工夫が有効である。

【0019】

20 【作用】水中水噴流において、無数にあるキャビテーション気泡群が急速に崩壊すると、夥しい数の衝撃圧パルスが加工対象表面で発生する。キャビテーション気泡の崩壊(圧縮されて潰れる現象)が、金属材料に耐食効果を生み出す現象は複雑であるが、以下の2つのメカニズムが考えられる。

【0020】(1)キャビテーション気泡の急速崩壊時に、水中の溶存酸素が気泡中に含まれて、材料の表面に輸送される。この輸送が、気泡の崩壊回数だけ繰り返され、鉄(Fe)が触媒的作用をし、安定な不動態皮膜が形成される。このようにして、材料の表面が電気化学的に極めて安定になり、腐食の進行が停止する。

30 【0021】このような不動態皮膜を安定に形成するためには、噴流あるいはキャビテーションの状態にも最適な現象が存在する。例えば、水中のウォータージェットを利用する場合、材料に対する崩壊力が強過ぎると、壊食(エロージョン)を起こし、材料から離脱した微小破片が材料表面を強くこすり、不動態皮膜が剥離してしまう。

40 【0022】従って、これを避けるためには、請求項4記載のスタンドオフ距離の範囲に選定する。例えば、ウォータージェットピーニングの先行技術(特開平4-362124号公報)において、記載されている領域(噴射圧力700kgf/cm²において、L/D=20〜30、Lはスタンドオフ距離、またDは噴出孔径)を用いると、ノズルに近過ぎるため、噴流の中心の液芯(コア)(図3の符号204を参照のこと)が存在し、この液芯(コア)の断続分裂部が材料に衝突し、本発明で対象とするような強度の低い材料(ステンレス鋼に比べて)では壊食(エロージョン)を起こしてしまう。

50 【0023】(2)キャビテーション気泡が数μ秒のオーダーで急速に崩壊する際には、数千気圧の圧力が発生す

ることが論理的に知られている〔B. E. Noltting & E. A. Neppiras; Proc. Phys. Soc., B. 63 (1950), P. 674~、K. S. Suslik & E. B. Flint; Sonoluminescence from Non-aqueous Liquid, Nature Vol. 330, No. 10, (1987-12), P. 553~、日経産業新聞、1989. 3. 27付記事、K. S. サスリック「日経サイエンス」1989年4月号〕。

【0024】この時、断熱圧縮によって温度が数千度まで上昇する。この挙動は、既に分光分析法により実証されている。実際には周囲水への放熱があるため、極度の温度上昇までは至らないであろうが、材料の表面は極めて短時間で局所的に高温となる。

【0025】しかし、次の瞬間には、周囲水と接触するため、急速に冷却される。このような作用により、材料の表面がアモルファス（非晶質）化する可能性がある。

【0026】以上のような、局所的な加熱と冷却が気泡の崩壊回数だけ繰り返されるので、材料の表面がアモルファス化するようになる。ちなみに、アモルファス化した材料は、優れた耐食性を有することが既に発表されている〔増本、深道；「アモルファス合金の化学的性質」（1981）、アグネ、第7章、アモルファス合金の化学的性質、7. 1節 耐食性、P. 324~〕。

【0027】この場合も、不働態皮膜の場合と同様に、薄いアモルファス化した層が破壊すれば耐食効果を失ってしまう。従って、スタンドオフ距離にも、前述したように最適範囲が存在する。

【0028】キャビテーションによる耐食性向上作用は、上記したいずれか一方のメカニズムが圧倒的に支配的であるのではなく、恐らく前記（1）と（2）の複合作用であると考えられる。

【0029】加工処理後にキャビテーション気泡の大半は消滅するが、一部の気泡が水中に残存する。この気泡中の水素濃度は、大気中のそれに比べて、著しく上昇する。これについては図14に基づいて後述するが、上記（1）のメカニズムであれば、酸素の消費（表面材料の酸化反応）により、水素濃度が上昇するであろうし、

（2）の現象に関するものなら、局所的な高温発生を繰り返して、水が水素と酸素に解離したものと考えることができる。いずれにせよ、水素濃度の上昇は、上記したメカニズムを間接的ながら裏付けるものである。

【0030】なお、本発明においては、キャビテーションの施工時間を、先行技術よりも長く費やすことが必要である。これは、ステンレス鋼において、結晶粒を塑性変形させるよりも、安定な不働態皮膜やアモルファス層の形成には時間が掛かるためである。

【0031】耐食効果を生み出すメカニズムに関しては、ウォータージェットピーニングの場合と異なり、液体側にも特定の条件が必要である〔特に上記メカニズム

（1）に関して〕。

【0032】例えば、酸素で構成される液体あるいは酸素を物理的に十分に溶解した液体でなければならない。ちなみにウォータージェットピーニングは、酸素を含まない液体であっても、その液体が高速低圧流れ場で蒸発することにより激しいキャビテーションを起こすので、応力改善施工が成り立つ。これに対して、本発明の場合は、液体側の条件がかなり重要である。

【0033】

【実施例】以下、本発明の実施例を図面に基づいて説明する。図1に、本発明を具体化した水中におけるキャビテーションによる耐食処理加工の一例を示す。

【0034】比較的大きな水槽8内に水（周囲水）9をはり、水槽8の底部に台座7を設置し、その上に加工対象物の円管部品5をサポート6により固定する。

【0035】高圧水1は、高圧水供給流路であるノズルガン2を通してノズル3に導かれ、水（周囲水）9中に高速で噴射される。水（周囲水）9内へ噴射された高速水噴流4には、激しいキャビテーションが伴う。この噴流4を、円管部品5に所定の時間だけ衝突させることにより、耐食処理加工が実現する。

【0036】ノズル3の出口先端と円管部品5の間のスタンドオフ距離xは、ノズル3の噴出孔径をDとする

$$30 < x/D < 180 \quad (1)$$

の範囲内に設定する。（1）式は、後述するように、キャビテーションから発生する衝撃圧分布の「第2ピーク」に相当する。この領域に設定すれば、円管部品5は壊食（キャビテーション・エロージョン）を起こすことはなく、また、円管部品5の広い表面部分を耐食処理加工することができる。

【0037】例えば、ノズル3の噴出孔径が、 $D=1\text{ mm}$ であるなら、加工物から $x=60\text{ mm}$ 離してノズル3を設置し、例えば、噴射圧力 700 kgf/cm^2 （ 70 MPa ）で10分間にわたり高速水を噴射すればよいことになる。

【0038】この場合、噴射圧力をあまり高くしすぎないことが重要である。例えば、噴射圧力を 1500 kgf/cm^2 にすると、キャビテーションあるいは液噴流芯（コア）の衝撃力が強過ぎて、折角材料表層に生じた不働態皮膜もしくはアモルファス層が破壊してしまうからである。このような噴射条件の選定法が、他の水中工法例えば、切断や掘削あるいはピーニングにおける方法との違いである。

【0039】なお、この実施例において、加工対象物が円管部品5であるため、衝突した噴流は、渦流の作用により、円管部品5の裏側まで回り込み、円管部品5の円周方向全域にキャビテーションの影響が及ぶ。このように物体の裏側まで加工能力がおよぶ特徴は、キャビテーションが言わば「線香花火」のように四方八方へ放射状

に衝撃圧力を発生させるという現象に起因するものである。

【0040】円管部品5の円周方向を加工するために、円管部品5やノズル3を移動させる操作は不要である。加工対象物である円管部品5が長い場合には、この円管部品5の長手方向のみノズルガン2とノズル3をトラバースさせればよい。

【0041】図2は、水中高速水噴流に発生するキャビテーションの衝撃圧力 P_{sh} の分布を、スタンドオフ距離 x に対する変化としてまとめたものである。また図3は、キャビテーション現象を模式的に示したものである。

【0042】この特性から明らかなように、 P_{sh} は、2つのピークを有する分布形状となる。ノズル出口に近い第1ピークは、狭いスタンドオフ距離の領域で発生し、ピークが尖っている。

【0043】この第1ピークは図3に示すように、ノズル201に近い領域で噴流の中心部にある液芯(コア)部204の断続分裂205と、その周囲に発生するキャビテーションクラウド203が連成した結果発生したものである。この第1ピークにおいては、衝撃エネルギーが加工対象物の狭い範囲に集中するため、短い時間で壊食(エロージョン)を起こしやすくなる。また、衝撃圧のおよぶ面積が小さいことから、加工面積を広げるためには、ノズル201を複雑に動かさなければならない。

【0044】従って、この第1ピークのスタンドオフ距離は、本発明の対象となる耐食処理加工には適切とは言いがたい。

【0045】これに対して、第2ピークの形状は緩やかで末広がりであり、相当するスタンドオフ距離は、前記(1)式で示すように広い範囲におよぶ。また、この第2ピークを用いると、衝撃エネルギーが広く分散しているため、加工対象表面の広い領域にわたり耐食処理部分を拡大することができる。

【0046】図3に示したように、第2ピーク相当領域では、キャビテーションクラウド203が分裂し、またその周囲において渦キャビテーション206が活発に生成する。

【0047】従って、キャビテーションクラウド203の分裂に伴う作用と、渦キャビテーション206の発生、成長そして崩壊という一連の動作とが、相乗効果として増幅され、第2ピークを作り出すものと考えられる。なお、図中の202は高圧水、207は周囲水である。

【0048】図4は、単一のキャビテーション気泡301が固体面302上で圧縮崩壊する様子を模式的に示したものである。

【0049】水中の局所的な低圧部で生じた気泡301は、周囲水306から圧力を受けて収縮し、複雑な形に変形しながら押しつぶされるように、固体面302上で

消滅する。この際、仮想気泡部303の液体が急速に移動し(304)、固体面302上で衝撃圧を発生させる。気泡301は、液体の蒸気と液体中に溶解していたガス(このガスの大半は空気)から構成される。

【0050】気泡301は、高速で固体面302へ向けて移動するために、気泡301中の気体も高速で固体面302へ衝突する。この現象が夥しい回数だけ繰り返されると、前述したように、気泡301内のガス中の酸素等が不働態皮膜として、固体面302上に形成される可能性がある。

【0051】一方、気泡301がこのような収縮すると、断熱圧縮の原理から、固体面302の一部が局所的に高温、高圧になる。気泡301が消滅すると、ごく短時間のうちに高温になった固体面302は、周囲水306と接触するために急冷される。このような高温化と急冷作用が、キャビテーション気泡の回数だけ繰り返されると、固体面302の表面はアモルファス(非晶質)化する可能性がある。なお、図中の305は消滅寸前の気泡、307は変形する気泡を示す。

【0052】図6は、図3に示すような激しいキャビテーションを伴う水中高速水噴流を作り出すためのノズルの一例(ホーンノズル)を示すものである。

【0053】噴出孔423の先端に円錐状の拡大空洞部425が設けてあり、この拡大空洞部425内において生じる環境渦や圧力脈動の作用により、拡大空洞部425を設けない場合に比べて、キャビテーションが著しく発達する。

【0054】なお、同図において421はホーンノズル本体、422は高圧水、424は高圧水供給流路、426は中心軸である。

【0055】本発明に係るキャビテーションを利用する耐食処理加工は、高速水噴流を用いなくとも、超音波振動法等により、加工対象物の近傍にキャビテーションを発生させることによっても実現する。

【0056】図5は、この超音波振動法による耐食処理加工法の例を示したものである。

【0057】磁歪式の超音波発生装置401の下部に、超音波エネルギーを先端に向けて収束させる形状の超音波ホーン402が取り付けられ、この超音波ホーン402の先端にその表面でキャビテーションを発生させるチッププレート403が設置されている。超音波ホーン402の下部が、水槽407内の水(周囲水)408中に沈められている。

【0058】チッププレート403は、キャビテーションによる壊食を防ぐために超硬材料で形成される。チッププレート403の直ぐ下に加工対象物である部品404を固定する。この部品404とチッププレート403の間のギャップ δ は小さく、およそ2~5mmに設定する。超音波ホーン402を、周波数 $f=5\text{KHz}\sim 1\text{MHz}$ の領域(好ましくは周波数 $f=10\text{KHz}\sim 100$

KHz、通常は $f=20\text{KHz}$ 前後を選択する)で振動させると、チッププレート403と部品404の間にキャビテーション405が発生する。

【0059】チッププレート403が高い周波数で上下動するために、キャビテーション気泡も高速で発生、成長および崩壊が繰り返され、部品404の表面が耐食処理加工される。

【0060】このような超音波法により発生するキャビテーション405の強度は、水中高速水噴流におけるそれよりも小さい。従って、水中高速水噴流法は、比較的大きな部材を対象とする方法であるのに対し、超音波法は比較的小さく細かい部品の耐食処理に適していると言える。

【0061】具体的には化学プラントや発電プラント等において、耐塩酸や耐硫酸のような防食性能を要する箇所ではなく、通常の冷却水が流れる配管や継手、バルブ、タンクの内壁等の施工に適している。これらに全面腐食現象に対する耐食性があり、酸化物(いわゆる錆)の離脱がなくなれば、各種機器類の信頼性が向上し、途中に設けたフィルタ類の寿命も大幅に向上する。

【0062】タンクの内壁は、気液界面のレベルの位置に耐食性能が必要である。このレベルは底からトップまで移動するものなので、結局、タンクの内壁は一般的な耐久性が必要である。タンク内に水を充滿させ、水中の高速ウォータージェットを用いて本発明に係る施工を行うことができる。この他、本発明は、各種機械部品の耐食処理施工に適している。

【0063】次に、本発明を具体化することによる耐食処理加工の作用効果について具体的に説明する。

【0064】耐食処理の効果を調べるため図7に示すように、塩水502をスプレー状にして(塩水スプレー503)、耐食処理を施した試験片504の表面に、所定の時間(2~5時間程度)だけ衝突させ、その後、風通しのよい大気中に長期間(約2年)放置する方法を採用した。なお、図中の501はスプレーノズル、505はピーニング面(キャビテーションによる衝撃圧発生領域)である。

【0065】塩水スプレーによって腐食した箇所は、赤茶けた酸化物、いわゆる全面腐食現象である錆が試験片の表面に斑目模様となって発生する。一方、高速水噴流によるピーニング面、即ち、キャビテーションによる衝撃圧発生領域には、錆が発生しにくい。

【0066】ここでは、試験片の表面状態を画像処理し、非腐食部分の面積 A と腐食の発生した部分の面積とに分割し、耐食効果の評価に用いることにした。

【0067】非腐食部分は、噴流の衝突点を中心に円形に広がる。この円形部分は、錆の生成が極めて少なく光沢があり、キャビテーションの生成や崩壊が最も激しい部分に相当することをうかがわせる。一方、試験片の周辺部表面には腐食が発生する。

【0068】水中高速水噴流を用いる耐食効果を、スタンドオフ距離 x (ノズルから試験片までの距離)を変化させることにより調べた。

【0069】この結果を図8に示す。図の縦軸 A/A^* は、非腐食部分の面積分 A を第1ピーク相当スタンドオフ距離における非腐食部品の面積 A^* で割り、無次元化している。横軸のスタンドオフ距離 x も、ノズルの噴出孔径 D により無次元化されて表記されている。 x/D に対して、 A/A^* は2つのピークを有する分布となる。第1ピークは、ノズルの噴出孔に近い $x/D \leq 20$ の領域に発生し、 A/A^* の値も大きくはない。

【0070】第1ピークにおいては、キャビテーションによる衝撃圧よりも、噴流の中心にある液芯部の断続衝突が生じるため、キャビテーションに支配される耐食効果が顕著に生じなかったものと考えられる。

【0071】一方、下流において発生する第2ピークは、広いスタンドオフ距離の領域にゆるやかな形状で広がり、 A/A^* のレベルも第1ピークにおけるそれに比べると著しく高い。第2ピークは、キャビテーションクラウドの分裂や渦キャビテーションの発達が最も活発になる領域であり、キャビテーションの挙動により、耐食効果が向上していることがわかる。

【0072】この図8に示す結果から、水中の高速水噴流を耐食処理加工に用いる場合には、

$$30 < x/D < 180$$

より望ましくは、

$$50 < x/D < 130$$

(ここに、 x :スタンドオフ距離、 D :ノズル噴出孔径)のスタンドオフ距離の範囲で選定すれば、耐食処理の効果を最大限に発揮できることになる。

【0073】図9は、材料SS400を対象にした結果であり、時間経過に対する腐食部分の面積 S の増加傾向を、無処理の場合と本発明の実施例とを比較した結果である。

【0074】縦軸の腐食部分の面積 S は、無処理時における $t=10^4$ hrs 放置後の腐食部分の面積 S^* により割り、無次元化して表した。

【0075】無処理の場合は、直ぐに腐食部分が急速に拡大し、その後、ゆっくりと増加する傾向があるのに対し、本発明に係る耐食処理を施した場合は、効果が顕著であり、腐食部分の増大は極めてゆっくりである。

【0076】従って、 $t=2 \times 10^4$ hrs 後には、 S/S^* が大差となる。

【0077】同様の結果は、それぞれ図10および図11に示すように、炭素鋼S45Cおよび鋳鉄(ねずみ鋳鉄)FC20においても得られる。

【0078】従って、本発明に係る耐食工法による効果は、この他にも、Cr-Mo鋼等のフェライト系低合金鋼や鋳鋼にも有効であることを確認している。

【0079】以上に示した耐食効果は、いずれも全面腐

11

食現象に対するものであった。しかしながら、キャビテーションの利用方法をさらに工夫すれば、孔食を伴う腐食の防止等にも適用できるものと考えられる。

【0080】障害物のない自由空間に噴出する自由噴流におけるキャビテーションも、加工対象物に衝突する衝突噴流におけるキャビテーションにおいても、噴流の下流では大半のキャビテーション気泡が消滅する。

【0081】これは、大半のキャビテーション気泡中の成分が、水圧の急速な低下に伴う相変化の結果生じた水蒸気であるため、水圧の回復により凝固してしまうためである。消滅するキャビテーション気泡群のうち、一部は水中に残存する。この残存気泡は、水中に溶解していた気体が析出して集合したものであるか、もしくは前述したように、キャビテーションの急速崩壊時に反応した結果生じた気体である。

【0082】図12および図13に示すように、自由噴流および衝突噴流において、水中に残存する気泡をサンプリングした。

【0083】図12を例として説明すると、水槽1101内の周囲水1108中を浮上する残存気泡1105を円錐型をした気泡コレクター1106内に集め、マイクロシリンジ1107でサンプリングした。このようにしてサンプリングしたガスをガスクロマトグラフにより分析した。

【0084】なお、図12、図13において、1102は高圧水、1103はノズル、1104はキャビテーションを伴う水中水噴流、1121は水槽、1122は高圧水、1123はノズル、1124はキャビテーションを伴う水中水噴流、1125は台、1126は衝突材料、1127は残存気泡、1128は気泡コレクター、1129はマイクロシリンジ、1130は周囲水である。

【0085】図14に、残存気泡中における水素濃度と、水槽が置いてある実験室内空気中の水素濃度を比較した結果を示す。

【0086】実験室内空気中の水素濃度が約0.5ppmであるのに対して、キャビテーションの残存気泡のサンプリングガス中では、水素濃度が22ppm以上まで増加している。これは前述したように気泡崩壊時に生じる、(1)不動態皮膜形成時に生じる酸化反応〔鉄(Fe)が触媒的作用をする〕あるいは、(2)局所的に生じる水の超高圧・超高温化による解離によって生成したものと考えられる。

【0087】(1)によれば安定な不動態皮膜の形成によって、(2)によれば材料表層のアモルファス化によって、耐食効果が生じる。

【0088】キャビテーションを利用する耐食加工は、水中の高速水噴流を用いなくとも、図5に示すような超音波発生装置を用いても可能である。

【0089】すなわち磁歪法等による超音波発生装置4

12

01を用いて、超音波ホーン402を数十KHzの周波数で加振する。この超音波ホーン402は、その先端に超音波のエネルギーを集束させるために、先細りの形状になっている。超音波ホーン402の先端には、耐キャビテーション性能の良好な超硬材料からなる円板をしたチッププレート403が取り付けられている。

【0090】加工対象物である部品404は、チッププレート403の先端から下方への距離 δ (実施例としては、約2~5mm)の位置に置かれている。

【0091】振動サイクル中において、チッププレート403が上方へ動いた時、チッププレート403の下面は負圧になり、キャビテーション405が爆発的に生成する。

【0092】一方、チッププレート403が下方へ動いた際には、発生したキャビテーション405に対して外圧が加わり、キャビテーション405が崩壊し、強い衝撃圧力が発生する。以上が超音波キャビテーション法の基本的機能である。

【0093】この他にもチッププレート403の外周端においては、周期的動作に伴う渦キャビテーションが発生する。この渦キャビテーションもパワフルであり、材料に対して強い破壊力を持つ。

【0094】以上のような複数のタイプのキャビテーションの相乗効果によって、部品(加工対象物)404の表層部は、十分な耐食加工が施されることになる。

【0095】ここに述べた超音波キャビテーション法では、前述した通り、振動数 f を、 $5\text{KHz} < f < 1\text{MHz}$ に、より好ましくは、 $10\text{KHz} < f < 100\text{KHz}$ の範囲から選定する。

【0096】また、超音波の照射時間は、少なくとも1分以上は必要であり、最長でも30分行えば十分である。この照射時間は、超音波のパワーによって異なり、パワーが大きな場合(例えば、同一の周波数であっても、チッププレート403の振幅が大きな場合)には、照射加工時間は短くて十分である。

【0097】超音波装置自身あるいは加工対象物をトラバースさせる場合には、トラバース速度は50mm/分以上に設定する必要がある。このトラバース速度についても、設定の基準は、上記した照射時間と同様であり、パワーを大きくするケースでは、トラバース速度を大きくして加工面積を拡大できる。

【0098】

【発明の効果】本発明による効果をまとめると、以下のようになる。

【0099】(1)金属材料の表層に耐食処理が施されるようになり、構造材や部品(ワーク)の耐久性や信頼性が向上する。

【0100】(2)水中高速水噴流の第2ピーク相当領域に発生する渦キャビテーションは、部品の裏面あるいは隙間まで入り込み作用するため、部品(ワーク)の回

転やノズルの複雑な移動(トラバース)が不要である。

【0101】(3) 表面が光沢を帯びて仕上がるために、部品の外観が良好になる。

【0102】(4) 本工法は、特殊な塗料や薬剤を一切必要としないので、コスト的に有利である。従って、環境を汚染するおそれもないし、化学薬品管理上の問題も発生することがなく、廃水処理の手間を省くことが可能になる。

【0103】(5) 上記した第2ピークの領域を加工に用いるため、加工対象材料が壊食(エロージョン)を起こす問題は生じない。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る耐食処理加工法の一実施例を示す断面図である。

【図2】激しいキャビテーションを伴う水中の高速水噴流から発生する衝撃圧分布を、噴流の軸方向距離に対する変化として示す説明図である。

【図3】噴流を構成するキャビテーション現象を示す模式図である。

【図4】キャビテーション気泡の急速圧壊挙動を示す模式図である。

【図5】耐食処理加工法の別の実施例を示す断面図である。

【図6】高速水噴流を作り出すためのノズル構造の一例を示す拡大断面図である。

【図7】耐食効果を調べるための塩水スプレー法を示す

模式図である。

【図8】噴流の軸方向距離とともに、耐食効果の生じる領域がどう変化するかを、画像処理法により調べた試験結果を示す説明図である。

【図9】軟鋼の試験片を対象に、無対策時と比較して耐食効果を実証した特性図である。

【図10】炭素鋼の試験片を対象に、無対策時と比較して耐食効果を実証した特性図である。

【図11】ねずみ銹鉄の試験片を対象に、無対策時と比較して耐食効果を実証した特性図である。

【図12】水中水噴流に発生したキャビテーションの残存ガスのサンプリング法を示す模式図である。

【図13】水中水噴流に発生したキャビテーションの残存ガスのサンプリング法を示す模式図である。

【図14】残存ガスの分析結果を示す図である。

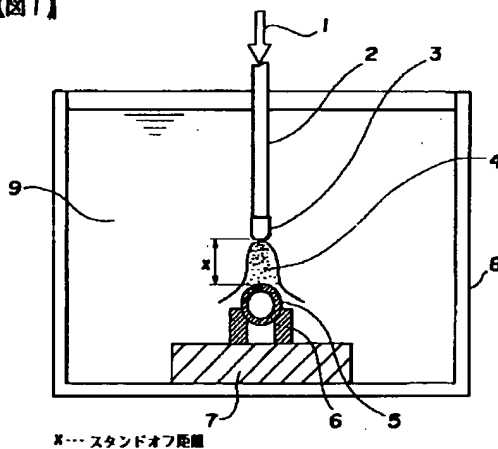
【符号の説明】

- 1 高圧水
- 2 ノズルガン
- 3 ノズル
- 4 キャビテーションを伴う水中水噴流
- 5 円管部品(加工対象物)
- 6 サポート
- 7 台座
- 8 水槽
- 9 水(周囲水)

【図1】

【図2】

【図1】



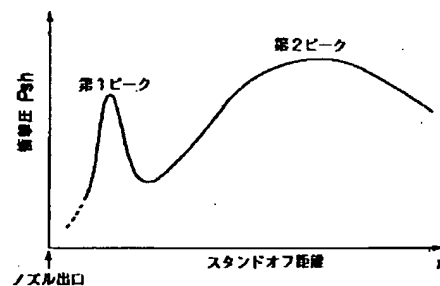
x... スタンドオフ距離

【図14】

【図14】

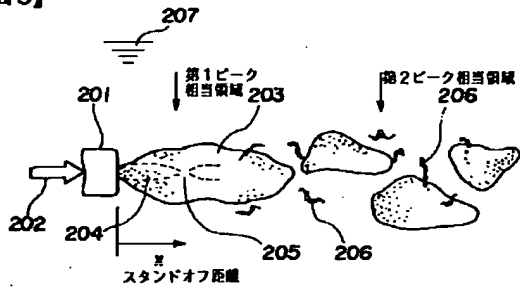
実験室内空気中 H ₂ 濃度	サンプリングガス中 H ₂ 濃度
約 0.5ppm	22ppm 以上

【図2】



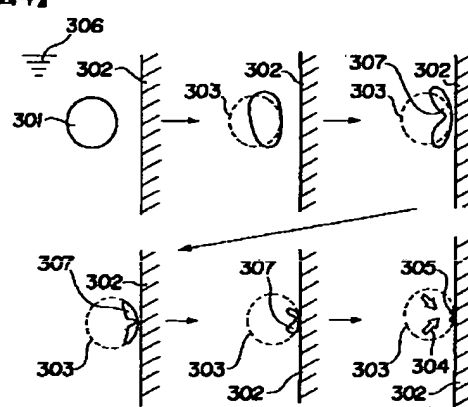
【図3】

【図3】



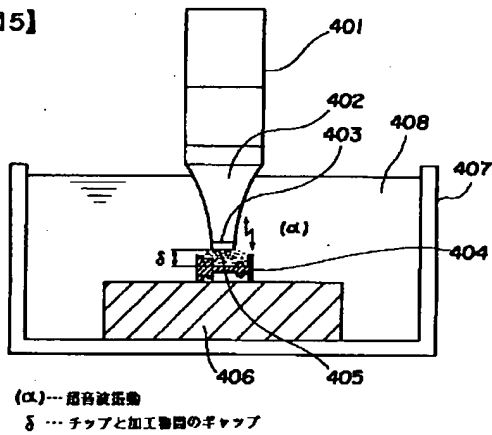
【図4】

【図4】



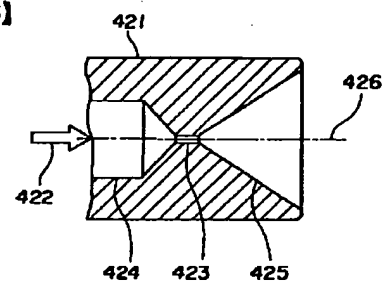
【図5】

【図5】



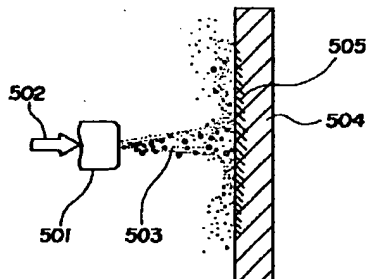
【図6】

【図6】



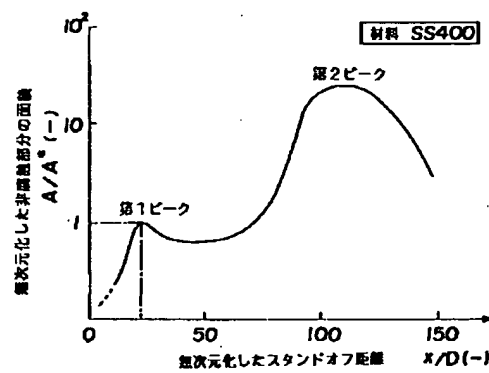
【図7】

【図7】



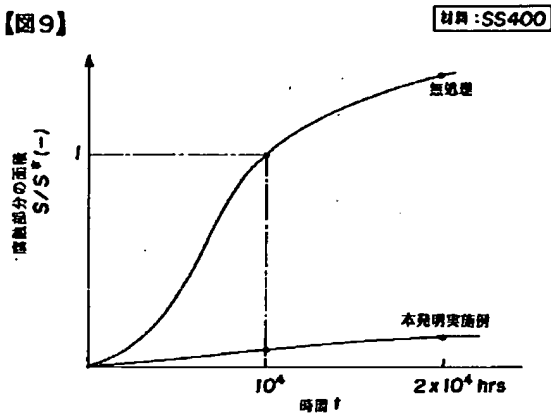
【図8】

【図8】



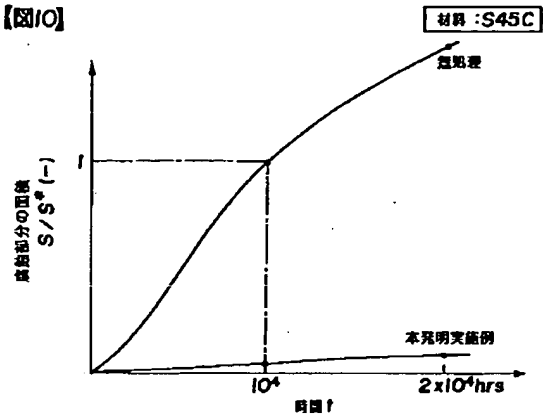
【図9】

【図9】



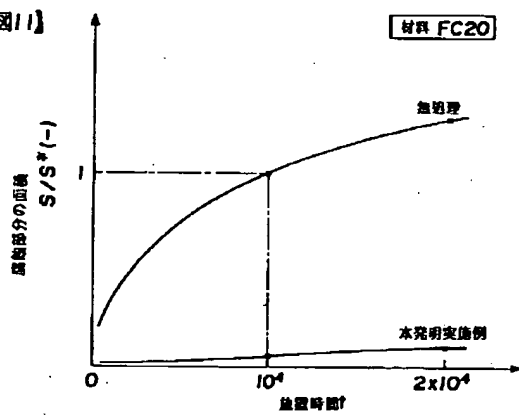
【図10】

【図10】



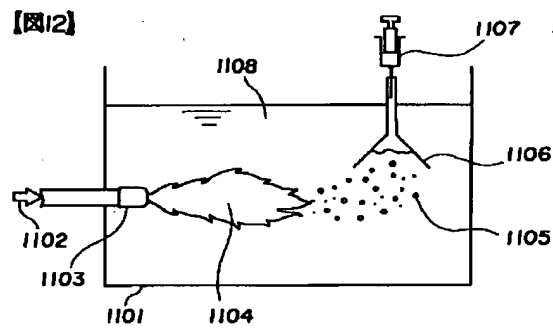
【図11】

【図11】



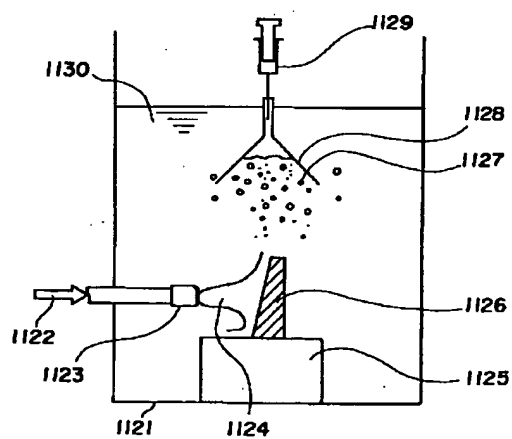
【図12】

【図12】



【図13】

【図13】



フロントページの続き

(72)発明者 重弘 勝矢

広島県呉市宝町6番9号 バブコック日立
株式会社呉工場内

(72)発明者 松原 敏夫

広島県呉市宝町6番9号 バブコック日立
株式会社呉工場内

(72)発明者 黒沢 孝一

茨城県日立市幸町三丁目1番1号 株式会
社日立製作所日立工場内

(72)発明者 祖山 均

宮城県仙台市青葉区貝ヶ森6-11-21

(72)発明者 大場 利三郎

宮城県仙台市青葉区川内亀岡北裏J19の7